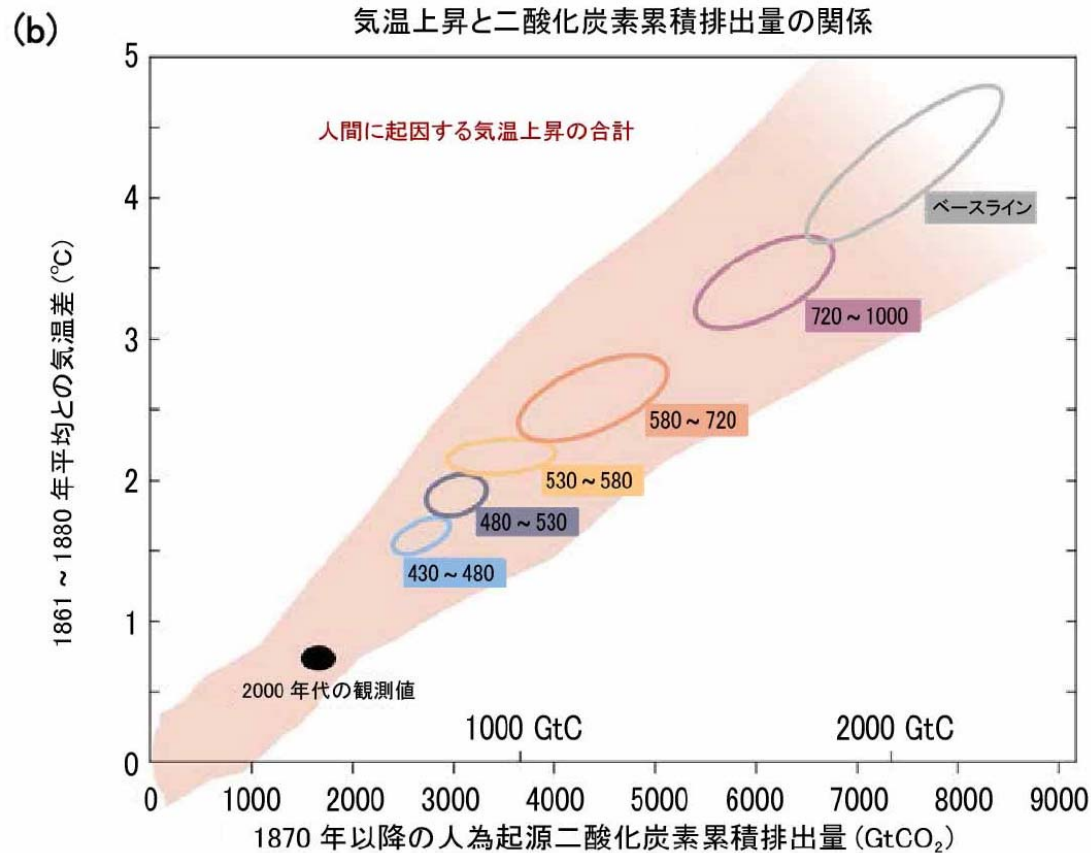

ゼロエミッションに向けた技術の動向

平成29年12月

(公財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)
企画調査グループ



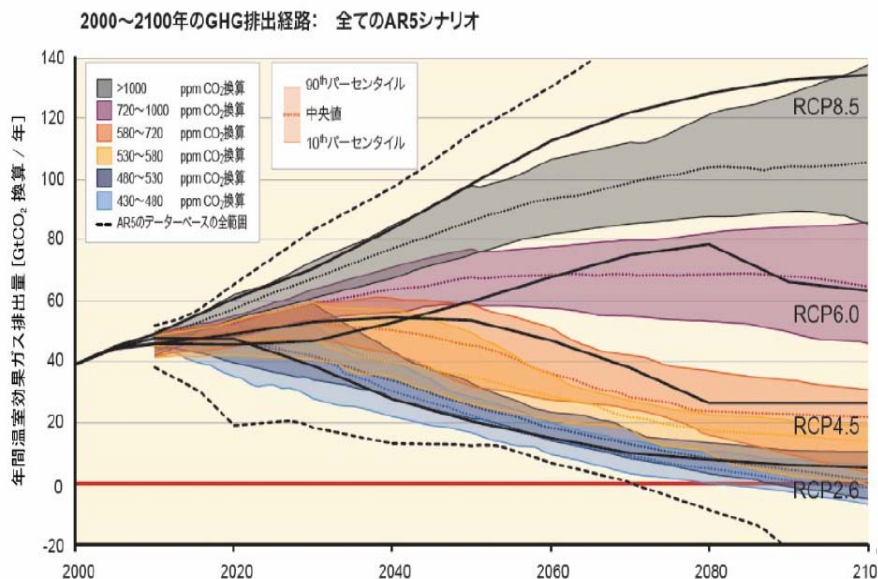
CO2ゼロエミッションの必要性 (累積排出量と世界平均地上気温との関係)



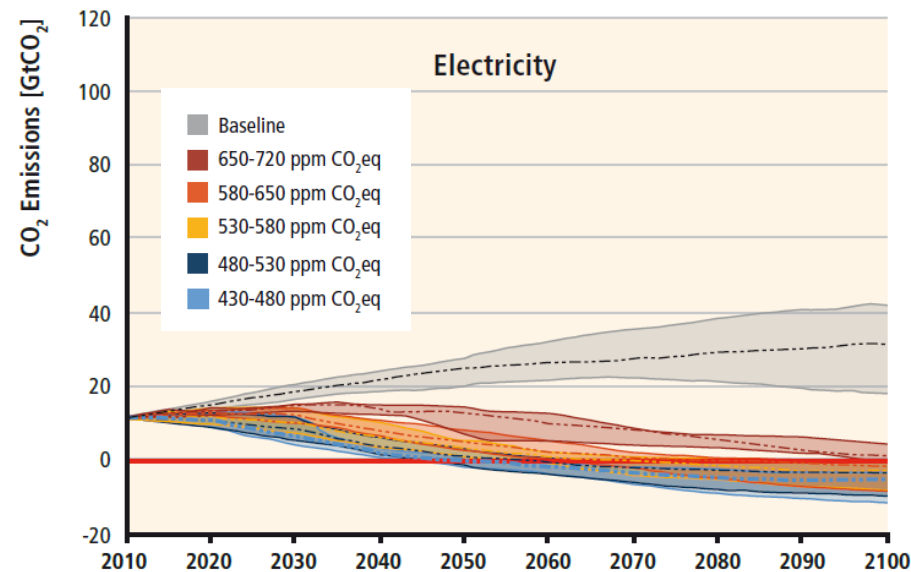
「2100年までの範囲では二酸化炭素累積排出量と予測される世界平均気温の変化量の間、強固で、整合的で、ほぼ比例の関係があることを示している。」

- CO2の累積総排出量と世界平均地上気温の応答は、ほぼ比例関係にある。
- したがって、**世界の平均気温を一定にさせるためには、CO2の累積排出量を一定にする、つまり、増分の排出量(年間排出量)をゼロにすることが必要である。**

2100年までの各シナリオにおけるCO₂の年間排出量



出典：気候変動に関する政府間パネル 第5次評価報告書
第3作業部会報告書 政策決定者向け要約 図SPM.5



出典：IPCC Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Figure 7.9

2100年にCO₂濃度を430～480ppmにするシナリオ（いわゆる2°Cシナリオ）では、

- ① 全部門で2100年に年間排出量がほぼゼロ、
- ② 電力部門では、2050年に年間排出量がほぼゼロ、2050年以降はネガティブエミッション（負の排出）。（バイオ+CCS（BECCS）が重要な役割。）

となっている。

COP21におけるパリ協定の概要

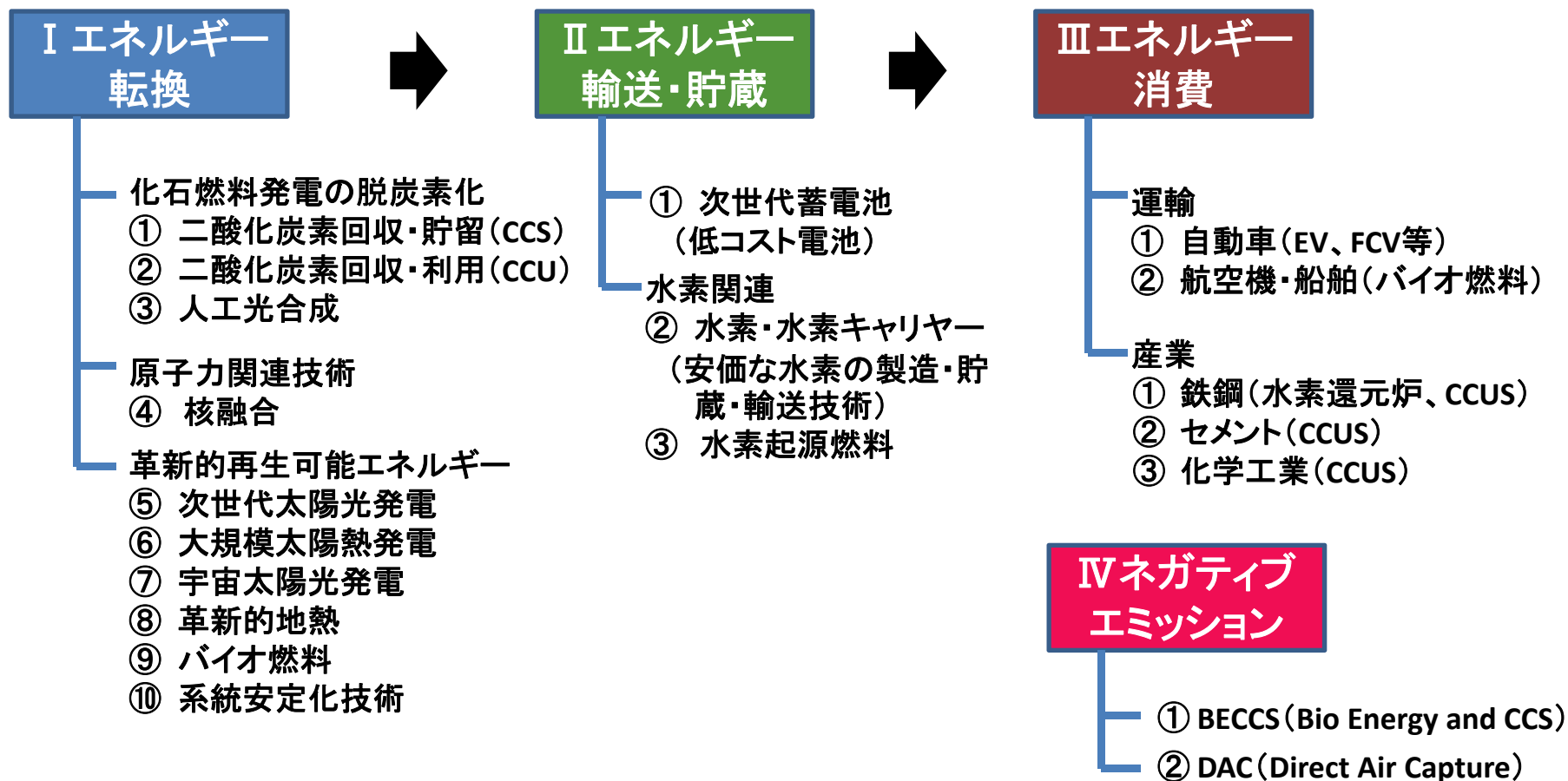
<COP21の概要>

2015年11月30日から12月13日まで、フランス・パリにおいて、国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)、京都議定書第11回締約国会合(CMP11)等が行われた。我が国からは、丸川環境大臣、木原外務副大臣、星野経済産業大臣政務官、鬼木環境大臣政務官等が出席した。なお、11月30日には、オランダ仏大統領の主催により首脳会合が開催され、安倍総理他が出席した。

<パリ協定のポイント>

- パリ協定には、以下の要素が盛り込まれた。
- ✓ 主要排出国を含むすべての国が削減目標を5年ごとに提出・更新、その実施状況を報告し、レビューを受ける
- ✓ 我が国が提案する二国間クレジット制度(JCM)も含めた市場メカニズムの活用を位置づけ
- ✓ 先進国が資金の提供を継続するだけでなく、途上国も自主的に資金を提供
- ✓ 5年ごとに世界全体の進捗状況を把握する仕組み(グローバル・ストックテイク)の導入
- ✓ 世界共通の長期目標として、2°C目標のみならず1.5°Cへ向けた努力、可及的速やかな排出のピークアウト、今世紀後半における排出と吸収の均衡達成への取組に言及
- ✓ イノベーションの重要性に言及し、技術メカニズム及び資金メカニズムによる支援を位置づけ
- ✓ 協定の発効要件に国数(少なくとも55ヶ国)及び排出量(少なくとも55%)を用いる

ゼロエミッションに向けて長期的に取り組むべき技術



温室効果ガス削減の主要技術(エネルギー転換部門)

部門	技術分類	環境エネルギー技術革新計画	エネルギー・環境イノベーション戦略	CO2ゼロエミッションに向けて長期的に必要な重要な技術
エネルギー転換部門	化石燃料発電	<ul style="list-style-type: none"> ・高効率石炭火力発電 ・高効率天然ガス発電 ・二酸化炭素回収・貯留(CCS) 	<ul style="list-style-type: none"> ・二酸化炭素固定化有効利用(CCUS) <ul style="list-style-type: none"> - CO₂革新的分離・回収技術 - CO₂有効利用技術 ・超軽量・超耐熱構造材料 	<ul style="list-style-type: none"> ・CCS, CCUS
	原子力	<ul style="list-style-type: none"> ・原子力発電 		<ul style="list-style-type: none"> ・核融合
	再生可能エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光発電 ・太陽熱発電 ・風力発電 ・地熱発電 ・海洋エネルギー ・バイオマス利活用 	<ul style="list-style-type: none"> ・次世代太陽光発電 ・次世代地熱発電 	<ul style="list-style-type: none"> ・革新的再生可能エネルギー技術(大規模太陽熱発電等) ・宇宙太陽光発電 ・革新的地熱発電
	エネルギー輸送・貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> ・水素 <ul style="list-style-type: none"> - 水素製造 - 水素輸送・貯蔵 ・燃料電池 ・高性能電力貯蔵 ・超伝導送電 ・蓄熱・断熱等技術 ・高効率ヒートポンプ 	<ul style="list-style-type: none"> ・水素等エネルギーキャリアの製造, 輸送・貯蔵, 利用 ・次世代蓄電池 	<ul style="list-style-type: none"> ・水素及び水素キャリア ・次世代蓄電池 ・水素起源燃料(CH₄, NH₃等)
	エネルギー・マネジメント	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー・マネジメントシステム 	<ul style="list-style-type: none"> ・統合システム技術:CO₂最小化シミュレーション技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・系統安定化技術

温室効果ガス削減の主要技術(エネルギー最終消費部門)

部門	技術分類	環境エネルギー技術革新計画	エネルギー・環境イノベーション戦略	CO2ゼロエミッションに向けて長期的に必要な重要な技術
エネルギー最終消費部門	運輸 低炭素電気 低炭素水素 バイオ燃料	<ul style="list-style-type: none"> 次世代自動車(HV, PHV, EV, クリーンディーゼル) 次世代自動車(燃料電池車) 低燃費航空機(低騒音) 高効率船舶 高効率鉄道車両 高速道路交通システム 革新的構造材料 	<ul style="list-style-type: none"> 超軽量・超耐熱構造材料 	<ul style="list-style-type: none"> バイオ燃料 電力, 水素, 水素キャリアー(CH₄, NH₃等)
	建築	<ul style="list-style-type: none"> 省エネ住宅・ビル 		
	産業 低炭素電気 新産業プロセス 画期的な製品革新 CCS	<ul style="list-style-type: none"> 高効率エネルギー産業利用 革新的製造プロセス 環境調和型製鉄プロセス(水素, CCS) 人工光合成 	<ul style="list-style-type: none"> 革新的生産プロセス <ul style="list-style-type: none"> 膜分離技術 革新的触媒利用生産プロセス技術 超軽量・超耐熱構造材料 	<ul style="list-style-type: none"> バイオ燃料 電力, 水素, 水素起源燃料(CH₄, NH₃等) CCU、CCS 人工光合成
デバイス	<ul style="list-style-type: none"> 革新的デバイス(情報機器, 照明, ディスプレイ) 革新的デバイス(パワエレ) 革新的デバイス(テレワーク) 	<ul style="list-style-type: none"> システムを構成するコア技術 <ul style="list-style-type: none"> 次世代パワーエレクトロニクス エネルギー・システム対応センシング技術 超伝導応用 		

温室効果ガス削減の主要技術(ネガティブ・エミッション技術)

部門	技術分類	環境エネルギー技術革新計画	エネルギー・環境イノベーション戦略	CO2ゼロエミッションに向けて長期的に必要となる重要な技術
ネガティブ・エミッション技術	CDR等	・植生による固定		<ul style="list-style-type: none"> ・BECCS ・BECC (bioenergy with carbon capture) ・CDR <ul style="list-style-type: none"> - Afforestation/ Reforestation - DAC - Accelerated weathering - Ocean iron fertilization 等
その他		<ul style="list-style-type: none"> ・メタン等削減技術 ・温暖化適応技術 ・地球観測・気候変動予測 		

ゼロエミッションに向けた主な技術の概要(1)

(CCS、CCU)

技術の概要	CO2削減ポテンシャル・コスト	導入の課題
<p>【CCS】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・火力発電所や製鉄所等の大規模発生源から大気中へ排出されるCO2を分離・回収し、<u>輸送、貯留する技術</u> ・<u>CCS付きの化石燃料発電</u>はIPCCのAR5でも重要な技術と位置付けられ、<u>再生可能エネルギーの大量導入時のグリッド調整電源としても重要</u> 	<p>○CO2削減ポテンシャル 世界全体での貯留可能量は少なくとも2兆トン(世界の総排出量の約100年分に相当)と試算(*1)。 ○コスト(アボイデッドコスト) 79~94(米ドル/t-CO2) (*2)</p>	<p><u>コスト低減、貯留ポテンシャル及び貯留性能の不確実性等による事業リスク、CCS事業の枠組み(体制、資金、法整備等)の整備、パブリックアクセプタンス等</u></p>
<p>【CCU】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大規模排出源の排ガス等からCO2を分離・回収し、<u>有効利用する技術</u>。 ・CO2をそのままの形で利用するもの(石油増進回収[EOR], 食品産業, その他[冷却用, 溶接用])と, 化学的・生物化学的な変換を伴うもの(燃料, 中間化学品, ポリマー等の製造, 鉱物固定化(コンクリート, 骨材等), バイオマス生産など)がある。 	<p>○CO2削減ポテンシャル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現状のCO2利用量は, 尿素の製造が5,000万トン/年(*3), EOR向けが5,000万トン/年程度(*4) ・2030年のCO2削減ポテンシャルは, <u>骨材製造:3~36億トン, 燃料製造:7,000万~21億トン, コンクリート向け:6~14億トン</u>と推測されている。(*5) 	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>現状と同水準の製造コストを実現する量産技術</u>や大量利用される<u>有価物を高効率に合成できる革新的技術の開発</u> ・削減可能なCO2排出量のLCA評価が必要。 ・<u>コスト低減</u>
<p>【人工光合成】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・太陽エネルギーを利用して化学エネルギー(水素や炭化水素)を作り出す技術 	<p>○CO2削減ポテンシャル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2030年に既存のオレフィン製造量の20%を代替し, 排出されるCO2を848万t/年削減(*6) 	<p><u>変換効率の向上、現状と同水準の製造コストを実現する量産技術</u>や大量利用される<u>有価物を高効率に合成できる革新的技術の開発</u></p>

ゼロエミッションに向けた主な技術の概要(2)

(原子力、再生可能エネルギー)

技術の概要	CO2削減ポテンシャル・コスト	導入の課題
<p>【核融合】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高温・高密度の核融合燃料(水素同位体)を閉じ込めて核融合反応を引き起こし、発生した高速中性子のエネルギーを取り出して発電を行う。 ・方式には大きく分けて、<u>磁場閉じ込め方式(磁場閉じ込め核融合)</u>と<u>慣性閉じ込め方式(レーザー核融合)</u>がある 	<p>○CO2削減ポテンシャル</p> <p>2100年の世界全体で核融合は発電部門の45%程度を占めるポテンシャルを持つと評価される。(*7)</p> <p>○コスト</p> <p>発電コストが約12円/kWhと試算されている(*8)</p>	<p><u>炉構成機器の照射試験と、原型炉における発電実証が必要。材料照射試験やブランケット機器試験も重要な課題。</u></p>
<p>【宇宙太陽光発電】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>宇宙空間に巨大な太陽電池とマイクロ波送電アンテナを配置し、マイクロ波に変換して地球上に設置した受電アンテナへ送電、地上で電力に再変換し、エネルギー源として用いる。</u> ・天候や昼夜を問わない<u>安定したゼロエミッション電源。</u> 	<p>○CO2削減ポテンシャル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1GW級 SSPSの年間発電電力量は、稼働率を95%と想定すると、約83億kWh³となる。(*9) ・<u>ポテンシャルは静止軌道にいくつの宇宙太陽衛星を置くかで決まる。</u> 	<p><u>宇宙への輸送費の低減(現在の数10分の1程度)。長距離無線エネルギー伝送技術の実現、マイクロ波等の安全性(人体、航空機、電離層等への影響等)。宇宙・地上送受電設備の設置場所の確保</u></p>
<p>【バイオ燃料】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バイオマス(植物、微生物等)を利用して化学エネルギー(水素や炭化水素)を作り出す技術 	<p>○CO2削減ポテンシャル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・IPCC第5次評価報告書では、<u>2050年の全一次エネルギーの35%、液体燃料の70%がバイオエネルギー由来。</u> ・日本で現状利用可能なバイオマスを全て利用しても日本全体の約3%程度のCO2排出量しかカバーできない(*10) 	<p><u>天然貯存量(供給量)の限界、他の土地利用との競合問題、植物栽培のための水源確保、人工肥料投入(NH3起源肥料)によるN2O(地球温暖化係数298)の発生可能性あり。</u></p>

ゼロエミッションに向けた主な技術の概要(3)

(エネルギー輸送・貯蔵)

技術の概要	CO2削減ポテンシャル・コスト	導入の課題
<p>【次世代蓄電池】 ・革新電池の例としては「金属—空気電池」、「リチウム硫黄電池」、「金属負極電池」等があり、いずれも企業、国の研究機関、大学での研究段階。</p>	<p>○コスト ・自動車用のコストを約5千円/kWh、定置用のコストを約2.3万円/kWhを目標(*11)。米テスラは2020年に100米ドル/kWhとする計画を発表。</p>	<p><u>リチウムイオン電池の性能限界を超える高い性能を達成し得る可能性のある革新電池の開発</u></p>
<p>【水素・水素キャリアー】 ・現在検討されている水素キャリアー(水素を輸送・貯蔵のための担体となる化学物質)は、①液体水素、②有機ヒドライド、③アンモニアの3種である。</p>	<p>○コスト ・キャリアーにおける目標水素コストは、<u>2020年までにガソリン等価で60円/m³、2030年までにLNG発電等価の水素発電向けで40円/m³(最小値)としている(*12)。</u></p>	<p><u>コスト低減、国内水素インフラの整備、水素の用途分野の拡大、水素利用機器の開発、燃焼時におけるサーマルNO_x対策、法規制整備</u></p>
<p>【水素起源燃料】 ・水素起源燃料とは、既存エネルギー供給インフラ使用を前提とした、<u>再生可能エネルギー由来の水素を用いた燃料</u>を指し、具体的には、<u>メタン、アンモニア、メタノール</u>等をいう</p>	<p>○コスト ・製造までのコストは水素直接利用に<u>比べ大きくなるが、輸送・供給コストは既存インフラが利用できる分小さい</u>。CH₄は既存インフラが代替可能だが、NH₃は利用インフラを新たに形成する必要がある。</p>	<p><u>燃焼によりCO₂が再び排出するため、カーボンニュートラルのCO₂を利用しない場合は、削減可能なCO₂排出量のLCA評価をすることが必要。</u></p>

ゼロエミッションに向けた主な技術の概要(4) (産業分野)

技術の概要	CO2削減ポテンシャル・コスト	導入の課題
<p>【産業(鉄鋼)】</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄鉱石の還元剤を石炭から水素で代替する<u>水素還元技術</u>、高炉ガス中のCOガスの<u>再循環利用技術</u>、排出ガスからCO2を<u>回収・貯留(CCS)</u>、<u>有効利用(CCU)</u>する技術等が開発中。 低炭素電力を用いた<u>電気分解法</u>は大幅な排出削減(ゼロエミッション化)の可能性があるが、未だ基礎研究の段階。 	<p>○CO2削減ポテンシャル</p> <ul style="list-style-type: none"> 2011年の<u>世界の粗鋼生産量</u>は約14.9億トン、<u>CO2排出量は26億トン</u>(*13)。 2014年度の<u>日本の粗鋼生産量</u>は約2億トン、<u>CO2排出量は約2億トン</u>(*14)。 	<ul style="list-style-type: none"> <u>CCS</u>については、<u>コスト低減、貯留に関する事業リスク、CCS事業の枠組みの整備等</u> <u>CCU</u>については、<u>コスト低減、量産技術の開発等</u> <u>電気分解法</u>は、基礎研究段階であり、<u>継続的な研究開発</u>が必要。
<p>【産業(セメント)】</p> <ul style="list-style-type: none"> セメント工場からのCO2排出量の約6割は原料由来であり、抜本的なCO2排出削減のために、<u>排出ガスからCO2を回収・貯留(CCS)</u>、<u>有効利用(CCU)</u>する技術が必要。 ICEFでは、<u>CO2鉱物固定化技術</u>がCO2削減ポテンシャルも大きい技術として評価。 	<p>○CO2削減ポテンシャル</p> <ul style="list-style-type: none"> 2013年の<u>世界のセメント生産量</u>は約40億トン、2006年の<u>CO2排出量は約20億トン</u>(*15)。 2015年の<u>日本のセメント生産量</u>は6,000万トン、2013年の<u>CO2排出量は4,200万トン</u>(*16)。 	<ul style="list-style-type: none"> <u>CCS</u>については、<u>コスト低減、貯留に関する事業リスク、CCS事業の枠組みの整備等</u> <u>CCU</u>については、<u>コスト低減、量産技術の開発等</u>
<p>【産業(化学)】</p> <ul style="list-style-type: none"> 革新的技術として、バイオマス原料とする化学製品製造プロセス、CO2を原料とする化学製品製造プロセス(CCU)、加熱プロセスの電化等が検討されている。 	<p>○CO2削減ポテンシャル</p> <ul style="list-style-type: none"> 2010年の<u>世界の化学工業からのCO2排出量は11.6億トン</u>(*13)。 2014年の<u>日本の化学工業からのCO2排出量は6,238万トン</u>(*17)。 	<ul style="list-style-type: none"> <u>CCU</u>については、<u>コスト低減、量産技術の開発等</u> <u>コスト低減</u>

ゼロエミッションに向けた主な技術の概要(5) (ネガティブエミッション)

技術の概要	CO2削減ポテンシャル・コスト	導入の課題
<p>【BECCS】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・BECCS(Bio Energy with Carbon dioxide Capture & storage)は、<u>バイオマス発電やバイオ燃料製造プロセスに二酸化炭素回収貯留(CCS)を組み合わせた技術</u>。バイオマスは大気中のCO₂を取り込んでできているため、正味のネガティブ・エミッションをもたらすと考えられる。 ・IPCCでは、<u>2°Cシナリオの多くがBECCSなどのネガティブエミッション技術を世紀後半に導入</u>。 	<p>○CO₂削減ポテンシャル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・世界のBECCSのポテンシャルは、<u>2050年時点で3~20 GtCO₂/年の範囲</u>(*13)。 ・GCP(*18)によれば、2°Cシナリオでは2100年時点の<u>BECCS実施量の中央値が12.1GtCO₂/年</u>。 <p>○コスト:</p> <ul style="list-style-type: none"> ・AR5によれば、<u>60~250 米ドル/tCO₂</u>(*13)、GCP(*18)によれば、2100年時点で<u>36米ドル/tCO₂</u>。 	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>土地の確保、食料との競合、生態系環境への影響、栄養素要求、水の使用量の増加による制限</u>。 ・<u>CCSとともに技術、コスト、社会制度、社会受容問題等</u>。
<p>【DAC】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・DAC(Direct Air Capture of CO₂ from ambient air by engineered chemical reactions)は、<u>大気中からの化学反応等を利用してCO₂を回収し、地中等に貯留する技術</u>。吸着剤を樹木のように広げて受動的に回収する方法と、ファンを利用して能動的に回収する方法がある。 ・大気中のCO₂を吸収することはバイオマスと同様であるが、<u>バイオマスの成長には水が必要であり、降水量の小さな地域には適用できないが、DACの場合にはその制約はない</u>。 	<p>○CO₂削減ポテンシャル</p> <ul style="list-style-type: none"> ・不明 <p>○コスト</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CO₂回収と吸収剤の再生のコスト見積り(貯留コストを除く)は、<u>\$400/tCO₂~\$1,000/tCO₂</u>。(*19) 	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>高コストで生産性が低いこと</u>。 ・<u>土地の確保</u>(1万トン/日のCO₂回収に必要な土地は15ha)。(*18) ・<u>かなりのエネルギーが必要</u>(12.3 GJ/tCO₂と推定)。 ・CO₂の貯留側の課題はCCSと同様。

出典一覧

- *1 IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage (2005)
- *2 GCCSI The costs of CCS and other low-carbon technologies in the united states (2015 updated)
- *3 Ecophys, “Implications of the Reuse of Captured CO₂ for European Climate Action Policies Final report” (2013)
- *4 Global CCS Institute, “ACCELERATING THE UPTAKE OF CCS: INDUSTRIAL USE OF CAPTURED CARBON DIOXIDE” (2011)
- *5 ICEF Roadmap 2016
- *6 NEDO二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発事業
- *7 RITEシステム研究グループ
- *8 電力中央研究所「高経済性核融合動力炉CREST(Compact Reversed Shear Tokamak)(1999)」
- *9 森 雅裕ら 宇宙太陽発電Vol.1, 2016
- *10 NEDO 再生可能エネルギー技術白書(第二版)第4章 2014
- *11 NEDO 二次電池技術開発ロードマップ2013
- *12 NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010
- *13 IPCC第5次評価報告書
- *14 日本鉄鋼連盟の低炭素社会実行計画実績報告書(2016年)
- *15 World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)
- *16 日本セメント協会
- *17 日本化学工業協会「化学業界における「低炭素社会実行計画フェーズII」の取組み(2014)
- *18 GCP(Global Carbon Project) Smith 2015: Pete Smith et al., “Biophysical and economic limits to negative CO₂ emissions”, Nature Climate Change, REVIEW ARTICLE, 2015
- *19 National Research Council , The National Academies Press (2015)

まとめ

- 世界の平均気温を一定にさせるためにはCO₂の年間排出量をゼロにすること(CO₂ゼロエミッション)が必要。
- CO₂ゼロエミッションに向けた技術としては、CCUS技術、核融合、革新的再生可能エネルギーなど種々存在するが、導入量の限界などそれぞれ様々な課題がある。
- したがって、一つの技術だけで地球温暖化問題を解決することは困難であるため、有望な技術を同時並行的に開発し、これらを組み合わせて導入していくことが必要。
- これらの技術を社会に導入していくためには、コストの低減が極めて重要である。
- 外部不経済である地球温暖化対策に特化した技術、長期間の研究開発が必要な技術は、民間だけの取り組みは不可能であるため、政府が主体的に継続的に実施することが必要。

ご清聴ありがとうございました

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構

**Research Institute
of
Innovative Technology for the Earth**